

明 細 書

発明の名称： 3相コイル構造体及びリニアモータ

技術分野

[0001] 本発明は、3相コイル構造体及びリニアモータに関する。

背景技術

[0002] 近年、扁平な空芯コイルを用いるリニアモータが普及している。例えば、特許文献1では、各相に係る空芯コイルが大小の2種類であり、一相に係る空芯コイルの端部を屈曲させ、他相に係る空芯コイルと重畳させることにより、3相コイル構造体の厚みを抑制したリニアモータが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第5508362号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 特許文献1では、一相に係る空芯コイルと他相に係る空芯コイルとの間に、インピーダンス及び推力の違いが発生することを防ぐべく、全ての相に対して、空芯コイルを大小の2種類にし、かつ、同じ巻数にしている。これにより、特許文献1のリニアモータにおいては、鎖交長の減少による推力の減少等により、空芯コイルの構成面積に対して良好な効率の性能が得られていない。

[0005] 本発明は、斯かる事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、コンパクト化を図りつつ、良好な性能が得られる3相コイル構造体及びリニアモータを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明に係る3相コイル構造体は、隣り合うように同一面内に並設された複数の長方形の空芯コイルを含む2相用コイルセットを備える3相コイル構造体において、両端側で曲げられ、前記2相用コイルセットの隣り合う長辺

部同士を跨ぐように配置された、大きさ及び曲げ角の異なる2つの空芯コイルを含む1相用コイルセットを備え、前記1相用コイルセットの空芯コイルは、前記2相用コイルセットの空芯コイルよりも巻数が多い。

[0007] 本発明にあっては、大きさと両端側の曲げ角とが異なる前記1相用コイルセットの2つの空芯コイルを適宜組み合わせ配置することによって3相コイル構造体のコンパクト化を図りながら、前記1相用コイルセットの空芯コイルの巻数を前記2相用コイルセットの空芯コイルよりも多くすることによって、鎖交長の減少による推力の減少等の性能の低下を防止できる。

[0008] 本発明に係る3相コイル構造体は、前記1相用コイルセットは、長さ方向の寸法が前記2相用コイルセットの空芯コイルと等しい大空芯コイルと、長さ方向の寸法が該大空芯コイルよりも小さい小空芯コイルとを含み、前記大空芯コイル及び前記小空芯コイルの少なくとも一方の巻数が前記2相用コイルセットの空芯コイルよりも多い。

[0009] 本発明にあっては、前記小空芯コイルの長さ方向の寸法が前記2相用コイルセットの空芯コイルよりも小さいので、3相コイル構造体のコンパクト化を図りながら、前記大空芯コイル及び前記小空芯コイルの少なくとも一方の巻数を前記2相用コイルセットの空芯コイルよりも多くすることによって、鎖交長の減少による推力の減少等の性能の低下を防止できる。

[0010] 本発明に係る3相コイル構造体は、前記大空芯コイル及び前記小空芯コイルは、同一軸心上に配置されており、夫々の両端側が軸心方向にて一側へクランク形状に屈曲しており、前記大空芯コイルは、両端部が前記2相用コイルセットの空芯コイルの端部と夫々重畳する。

[0011] 本発明にあっては、前記大空芯コイルの両端部がクランク形状に屈曲しており、前記2相用コイルセットの空芯コイルの端部と夫々重畳するので、3相コイル構造体のコンパクト化を図ることができる。

[0012] 本発明に係る3相コイル構造体は、前記大空芯コイルは両端部が 30° - 44.5° 屈曲しており、前記小空芯コイルは前記両端部が 10° - 31° 屈曲している。

- [0013] 本発明にあっては、前記大空芯コイルの両端部の屈曲角度を $30^{\circ} - 44.5^{\circ}$ にし、前記小空芯コイルの両端部の屈曲角度を $10^{\circ} - 31^{\circ}$ にすることによって、屈曲角度が大きすぎる場合、曲げ加工の際に空芯コイルに傷等の不具合が生じること、及び、屈曲角度が小さすぎる場合、小空芯コイルの鎖交長減少による推力低下を事前に防止することができる。
- [0014] 本発明に係る3相コイル構造体は、前記小空芯コイルは、前記大空芯コイルに対して前記軸心方向の前記一側に配置され、一面が前記大空芯コイルの一面と接触しており、前記大空芯コイルにて、前記一面及び前記両端部の前記2相用コイルセットとの対向面と反対側面の間の間隔は、前記小空芯コイルにて、前記一面及び前記両端部の前記大空芯コイルとの対向面と反対側面の間の間隔以上である。
- [0015] 本発明にあっては、前記小空芯コイルの一面が前記大空芯コイルの一面と接触しており、前記大空芯コイルにて、前記一面及び前記両端部の前記2相用コイルセットとの対向面と反対側面の間の間隔は、前記小空芯コイルにて、前記一面及び前記両端部の前記大空芯コイルとの対向面と反対側面の間の間隔以上である。よって、前記軸心方向において前記小空芯コイルが前記大空芯コイルよりも前記一側にはみ出ることはなく、3相コイル構造体のコンパクト化を図ることができる。
- [0016] 本発明に係る3相コイル構造体は、前記2相用コイルセットは、2つであって、一方向に積層されており、前記一方向において、積層された2つの前記2相用コイルセットの両側に、前記1相用コイルセットが同一軸心上に夫々設けられ、2つの前記1相用コイルセットは夫々の両端側が互いに反対向きに屈曲している。
- [0017] 本発明にあっては、一方向に積層された2つの前記2相用コイルセットの両側に、前記1相用コイルセットが夫々設けられており、2つの前記1相用コイルセットの両端側の屈曲向きは互いに反対向きである。各1相用コイルセットにおいて前記小空芯コイルが前記大空芯コイルよりも前記一方向にはみ出ることはなく、3相コイル構造体のコンパクト化を図ることができる。

[0018] 本発明に係るリニアモータは、上述した何れかの３相コイル構造体と、前記１相用コイルセットの軸心方向で対向するよう、前記３相コイル構造体の両側に配置された磁石とを備える。

[0019] 本発明にあっては、上述の如く、コンパクトであって、鎖交長の減少による推力の減少等の性能の低下を防止できる３相コイル構造体を用いるので、リニアモータのコンパクト化、及び、良好な性能が得られる。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、コンパクト化を図りつつ、良好な性能が得られる３相コイル構造体及びリニアモータを提供できる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明の実施形態に係るリニアモータの外観を示す斜視図である。

[図2]図１のⅠ－Ⅰ線による模式的断面図である。

[図3]本実施形態のリニアモータの可動子を示す斜視図である。

[図4]本実施形態のリニアモータの３相コイル構造体を示す正面図である。

[図5]図４のⅤ－Ⅴ線による矢視図である。

[図6]図４のⅤⅠ－ⅤⅠ線による断面図である。

[図7]本実施形態のリニアモータの２相用コイルセットを示す斜視図である。

[図8]本実施形態のリニアモータの１相用コイルセットを示す斜視図である。

[図9]図８のⅠⅩ－ⅠⅩ線による矢視図である。

[図10]大空芯コイルの屈曲角度を説明する説明図である。

[図11]本実施形態のリニアモータの推力及びコイルインピーダンスを先行技術と比較したグラフである。

[図12]本実施形態のリニアモータの発熱量を先行技術と比較したグラフである。

[図13]本実施形態のリニアモータの単位面積あたりの発熱量を先行技術と比較したグラフである。

発明を実施するための形態

[0022] 以下に、本発明の実施形態に係る３相コイル構造体及びリニアモータを、

図面に基づいて詳述する。

[0023] 図1は、本発明の実施形態に係るリニアモータ100の外観を示す斜視図である。リニアモータ100は、例えば、コイル可動型のリニアモータであり、固定子10及び可動子20を備えている。可動子20は電源装置（図示せず）に接続されている。

[0024] 固定子10は、矩形の平板形状をなす一对のヨーク11と、該一对のヨーク11の間に介在し、ヨーク11同士の両端部を連結する介在部12とを有している。介在部12は、ヨーク11の短辺側に配置されている。介在部12によって、ヨーク11同士は所定間隔を隔てて対向配置されており、一对のヨーク11の間に、可動子20が介在している。可動子20は、ヨーク11の両長辺の対向方向（図1の矢印方向）に移動可能である。即ち、図1の矢印は、可動子20の移動方向を示している。

[0025] 各ヨーク11は、矩形の平板形状をなしており、例えば、鉄等の磁性体から構成されている。介在部12は樹脂等の非磁性体又は鉄等の磁性体から構成されている。介在部12は、例えば、ヨーク11にネジ止めされている。

[0026] 図2は、図1のI-I線による模式的断面図である。図2においては、便宜上、可動子20の表示を省略している。

各ヨーク11は、内側面に磁石ユニット13が取り付けられている。磁石ユニット13は、ヨーク11と可動子20との間に配置されている。換言すれば、可動子20は、一对の磁石ユニット13の間に介在している。

[0027] 磁石ユニット13は、複数の永久磁石131を有している。各永久磁石131は、ヨーク11の長さ方向に延びる角棒形状をなしており、複数の永久磁石131は、可動子20の移動方向へ、等間隔に並設されている。

[0028] 一对の磁石ユニット13は交番磁界を形成している。詳しくは、各永久磁石131は、一对の磁石ユニット13の対向方向に、磁極を向けており、前記対向方向において、永久磁石131同士の磁極は逆転しており、隣り合う永久磁石131同士の磁極も逆転している。

[0029] 図3は、本実施形態のリニアモータ100の可動子20を示す斜視図であ

る。

可動子20は、積層された複数の空芯コイルからなる3相コイル構造体30と、3相コイル構造体30を挟持する挟持部材40とを含む。挟持部材40は、3相コイル構造体30の空芯コイルの軸心方向の両側から3相コイル構造体30を挟持している。

[0030] 挟持部材40は、長方形の平板形状をなしており、対向配置された一对の当て部41と、一对の当て部41を連結するマチ部42とを有している。即ち、一对の当て部41の隣り合う一方の短辺同士がマチ部42によって連結されている。マチ部42は、当て部41の幅寸法と略同じ長さを有する、細長い長方形板形状をなしている。一对の当て部41及びマチ部42は一体形成されており、例えば、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）から構成されている。

[0031] また、一对の当て部41の間には、当て部41の長さ方向の略中間から他方の短辺部に亘って、間隔保持部43が設けられている。間隔保持部43は、マチ部42の幅寸法と略同じ厚みを有する矩形の板形状をなしており、ネジ又は接着剤によって当て部41に取り付けられ、当て部41同士の間隔を保持している。間隔保持部43は、例えば、ガラス繊維強化プラスチック（GFRP）から構成されている。

[0032] 以上のような構成により、挟持部材40では、当て部41同士の間であって、マチ部42及び間隔保持部43の間に、隙間が形成されており、斯かる隙間に3相コイル構造体30が介在している。マチ部42は3相コイル構造体30の抜けを防止し、当て部41と3相コイル構造体30との間には、例えば、GFRP等からなる不図示の絶縁シートが介在しても良い。

[0033] 図4は、本実施形態のリニアモータ100の3相コイル構造体30を示す正面図であり、図5は、図4のV-V線による矢視図であり、図6は、図4のVⅠ-VⅠ線による断面図である。

[0034] 3相コイル構造体30は、V相のための1相用コイルセット31と、U相及びW相のための2相用コイルセット32とを備える。即ち、3相コイル構

造体 30 は 1 つの 1 相用コイルセット 31 と、2 つの 2 相用コイルセット 32 を有する。1 相用コイルセット 31 及び 2 相用コイルセット 32 は、何れも、略長方形の空芯コイルから構成されている。なお、図 5 においては、便宜上、1 相用コイルセット 31 及び 2 相用コイルセット 32 の引き出し線の図示を省略している。

[0035] 各 2 相用コイルセット 32 は、同一軸心上に配置された、長さ方向及び幅方向の寸法が同一である 2 つの空芯コイルを含む。2 つの 2 相用コイルセット 32 は、夫々の軸心方向が平行であるように設けられている。即ち、2 つの 2 相用コイルセット 32 は、同一面内にて隣り合うように並設されており、一方の 2 相用コイルセット 32 の空芯コイルの長辺部が、他方の 2 相用コイルセット 32 の空芯コイルの長辺部と接している。また、各 2 相用コイルセット 32 には、軸心方向に、別の 2 相用コイルセット 32 が更に積層されている（図 5 参照）。2 つの 2 相用コイルセット 32 は同じ形状であり、以下では、1 つの 2 相用コイルセット 32 についてのみ説明する。

[0036] 1 相用コイルセット 31 は、2 つの 2 相用コイルセット 32 の長辺部同士を跨ぐように配置されており、大きさの異なる 2 つの空芯コイルを含む。以下、大きさが小さい方の空芯コイルを小空芯コイル 31A と称し、大きさが大きい方の空芯コイルを大空芯コイル 31B と称する。小空芯コイル 31A は、大空芯コイル 31B に比べて、長さ方向の寸法が小さく、幅方向の寸法は等しい。小空芯コイル 31A 及び大空芯コイル 31B は、同一軸心上に配置されている。1 相用コイルセット 31 の軸心方向は、各 2 相用コイルセット 32 の軸心方向と平行をなしており、1 相用コイルセット 31 は、2 つの 2 相用コイルセット 32 に対して、軸心方向の両側に夫々配置されている（図 5 参照）。

[0037] 各 2 相用コイルセット 32 は、正面視中空の長方形であり、2 つの長辺部 321、322 と、2 つの短辺部 323、324 とを備える。2 相用コイルセット 32 において、2 つの長辺部 321、322 は、幅方向の寸法が同じであり、長辺部 321、322 の幅方向の寸法の和に相当する距離だけ離隔

して形成されている。また、一方の２相用コイルセット３２の長辺部３２１は、他方の２相用コイルセット３２の長辺部３２１と長辺側が隣接している。

[0038] １相用コイルセット３１も、２相用コイルセット３２と同様、正面視中空の長方形である。小空芯コイル３１Ａは、大空芯コイル３１Ｂに対して軸心方向の一側に配置されている。小空芯コイル３１Ａは２つの長辺部３１１Ａ、３１２Ａと、２つの短辺部３１３Ａ、３１４Ａとを備える。また、大空芯コイル３１Ｂは、２つの長辺部３１１Ｂ、３１２Ｂと、２つの短辺部３１３Ｂ、３１４Ｂ（端部）とを備える。

[0039] 小空芯コイル３１Ａにおいて、２つの長辺部３１１Ａ、３１２Ａは、幅方向の寸法が同じであり、長辺部３１１Ａ、３１２Ａの幅方向の寸法の和に相当する距離を離隔して形成されている。また、大空芯コイル３１Ｂにおいて、２つの長辺部３１１Ｂ、３１２Ｂは、幅方向の寸法が同じであり、長辺部３１１Ｂ、３１２Ｂの幅方向の寸法の和に相当する距離を離隔して形成されている。即ち、軸心方向において、小空芯コイル３１Ａの長辺部３１１Ａ、３１２Ａは、夫々大空芯コイル３１Ｂの長辺部３１１Ｂ、３１２Ｂと当接している（図６参照）。以下、小空芯コイル３１Ａの長辺部３１１Ａ、３１２Ａにおいて大空芯コイル３１Ｂの長辺部３１１Ｂ、３１２Ｂと接触する面を接触面３１０Ａ（一面）と称し、大空芯コイル３１Ｂの長辺部３１１Ｂ、３１２Ｂにおいて小空芯コイル３１Ａの長辺部３１１Ａ、３１２Ａと接触する面を接触面３１０Ｂ（一面）と称する。

[0040] １相用コイルセット３１と、２つの２相用コイルセット３２とは長さ方向が平行になるように配置されており、１相用コイルセット３１は、２つの２相用コイルセット３２と部分的に重畳している。

[0041] 即ち、上述の如く、１相用コイルセット３１は、隣り合う２つの２相用コイルセット３２の長辺部３２１を跨ぐように配置されている。詳しくは、小空芯コイル３１Ａの長辺部３１１Ａ、３１２Ａ同士の間、及び、大空芯コイル３１Ｂの長辺部３１１Ｂ、３１２Ｂ同士の間、に、２つの２相用コイルセッ

ト 3 2 の 2 つの長辺部 3 2 1 が介在している。

[0042] また、大空芯コイル 3 1 B の短辺部 3 1 3 B、3 1 4 B の一面 3 1 9 B (対向面) は 2 相用コイルセット 3 2 の短辺部 3 2 3、3 2 4 と当接しており、小空芯コイル 3 1 A の短辺部 3 1 3 A、3 1 4 A の一面 3 1 9 A (対向面) は、大空芯コイル 3 1 B の長辺部 3 1 1 B、3 1 2 B 及び 2 相用コイルセット 3 2 の長辺部 3 2 1 と対向している (図 4 及び図 6 参照)。

[0043] 図 7 は、本実施形態のリニアモータ 1 0 0 の 2 相用コイルセット 3 2 を示す斜視図である。2 相用コイルセット 3 2 は、上述の如く、同一軸心上に配置された 2 つの長方形の空芯コイル 3 0 0 からなり、扁平である。即ち、2 相用コイルセット 3 2 は、長辺部 3 2 1、3 2 2 と、短辺部 3 2 3、3 2 4 とは同一平面上に設けられている。

[0044] また、2 相用コイルセット 3 2 は、巻き方向が一致するように、前記 2 つの空芯コイル 3 0 0 を軸心方向に積層させることによって形成されている。

各空芯コイル 3 0 0 は、例えば、帯状 1、 $1 \times 0.54 \text{ mm}$ の導体の平角線を軸心方向と直交する方向に例えば 15 回巻いて形成されている。平角線同士が (平角線の) 厚み方向にて重畳するように巻回されている。即ち、空芯コイル 3 0 0 は、軸心方向には単層であり、軸心方向と直交する方向に複層であって、軸心方向の両端面が略平らである。斯かる平角線は、エポキシ樹脂等の熱硬化性樹脂の接着剤が外周面に塗布された状態にて巻回される。接着剤は、室温で、又は加熱により硬化する。これによって、空芯コイル 3 0 0 の形状が維持され、2 相用コイルセット 3 2 においては、軸心方向に積層された空芯コイル 3 0 0 同士が固定される。図 3、図 4、図 7 においては、便宜上、空芯コイル 3 0 0 の軸心方向の端面 (複層状のコイル) を略示している。

[0045] なお、空芯コイル 3 0 0 は、巻き始めになる引き出し線 3 2 5 B 及び巻き終わりになる引き出し線 3 2 6 B を有している。2 相用コイルセット 3 2 は、いわゆるアルファ巻によって形成される。

[0046] 図 8 は、本実施形態のリニアモータ 1 0 0 の 1 相用コイルセット 3 1 を示

す斜視図であり、図9は、図8のⅠX-ⅠX線による矢視図である。図9A及び図9Bは、小空芯コイル31A及び大空芯コイル31Bの円で囲まれた部分を拡大して示す拡大図である。便宜上、図8では、小空芯コイル31Aと、大空芯コイル31Bとを分離して表示しており、図9においては、引き出し線の図示を省略している。

[0047] 上述の如く、1相用コイルセット31は、同一軸心上に配置された、小空芯コイル31A及び大空芯コイル31Bからなり、小空芯コイル31Aは、大空芯コイル31Bに比べて、長さ方向の寸法が小さく、幅方向の寸法は等しい。小空芯コイル31A及び大空芯コイル31Bの厚みは、2相用コイルセット32の空芯コイル300の厚みと等しい。

[0048] また、小空芯コイル31Aは2つの長辺部311A、312Aと、2つの短辺部313A、314Aとを備える。また、大空芯コイル31Bは、2つの長辺部311B、312Bと、2つの短辺部313B、314B（端部）とを備える。

[0049] 大空芯コイル31Bは、長辺部311B、312Bの両端部にプレス加工が施されて、クランク形状に屈曲している。これによって、大空芯コイル31Bでは、2つの長辺部311B、312Bの両端側に屈曲部318Bが形成されている。斯かるプレス加工後の大空芯コイル31Bは、長さ方向の長さが、2相用コイルセット32の空芯コイル300と同じである。

[0050] また、大空芯コイル31Bにおいて、長辺部311B、312Bの小空芯コイル31Aとの接触面310Bと反対側面から、短辺部313B、314Bの一面319Bまでの間隔は、大空芯コイル31B又は小空芯コイル31Aの厚み t の2倍である（図9B参照）。

[0051] 図10は、大空芯コイル31Bの屈曲角度を説明する説明図である。図10において、一点鎖線は、大空芯コイル31Bの長辺部311B、312Bの端部に屈曲部318Bを形成する成形丸棒を示している。

[0052] 製造実績上、 R （旋回最小半径） $> 3t$ の条件を満たせば、平角線にクラックが発生することを防げる。図10は、 $R = 3t$ である場合を示しており

、2つの成形丸棒の中心間距離は7 t になる。一方の成形棒は固定し、他方の成形棒を一方の成形棒の中心を基準に、 θ だけ回転させ、段差2 t となるように大空芯コイル3 1 Bの長辺部3 1 1 B, 3 1 2 Bの端部を屈曲させる。

[0053] 図10中、実線で描いた大小の2つの三角形は互いに相似形で、比率は1 : 4 となる。また、成形丸棒の中心間距離が7 t であって、大空芯コイル3 1 Bの段差は2 t であり、小三角形の斜辺の長さをx とすると、以下の関係が成立する。

$$\sin \theta = t / x$$

ここで、大小三角形の相似比は1 : 4 なので、中心間距離(7 t) は5 x (x + 4 x) であり、x は以下のように定義される。

$$x = (7 / 5) t$$

したがって、 $\sin \theta = 5 / 7$ であり、 θ は45. 5° である。法線と接線は直交するので、大空芯コイル3 1 Bの屈曲部3 1 8 Bの屈曲角は44. 5° (90° - 45. 5°) となる。

[0054] 以上の計算結果に鑑みると、屈曲部3 1 8 Bは、軸心方向の前記一侧へ30° ~ 44. 5° の屈曲角度で屈曲していれば良い(図9参照)。即ち、各屈曲部3 1 8 Bは、大空芯コイル3 1 Bの軸心方向と直交する方向に対して30° ~ 44. 5° の範囲で斜めに形成されている。屈曲部3 1 8 Bの屈曲角度が前記範囲の下限未満になる場合、推力が低下する。

[0055] 屈曲部3 1 8 Bの屈曲角度が44. 5° を超える場合は、プレス加工の際、大空芯コイル3 1 Bに傷等の不具合が生じるおそれがあるうえに、大空芯コイル3 1 Bの短辺部3 1 3 B, 3 1 4 Bと、2相用コイルセット3 2の短辺部3 2 3, 3 2 4との間の間隔が大きくなって3相コイル構造体30の厚みが厚くなるおそれがある。また、屈曲部3 1 8 Bの屈曲角度が30° 未満の場合は、長辺部3 1 1 B, 3 1 2 Bにおいて屈曲部3 1 8 Bが占める割合が大きくなり、平坦部が狭くなるので、推力の低下を招くおそれがある。

[0056] 小空芯コイル3 1 Aは、長辺部3 1 1 A, 3 1 2 Aの両端部にプレス加工

が施されて、クランク形状に屈曲している。これによって、小空芯コイル 31 A では、2つの長辺部 311 A, 312 A の両端側に屈曲部 318 A が形成されている。小空芯コイル 31 A において、長辺部 311 A, 312 A の接触面 310 A から、短辺部 313 A, 314 A の一面 319 A までの間隔は、小空芯コイル 31 A 又は大空芯コイル 31 B の厚み t と同じである（図 9 A 参照）。

[0057] 屈曲部 318 A も、上述の計算に基づき、軸心方向の前記一侧へ $10^{\circ} \sim 31^{\circ}$ の屈曲角度で屈曲していれば良い（図 9 参照）。即ち、各屈曲部 318 A は、小空芯コイル 31 A の軸心方向と直交する方向に対して $10^{\circ} \sim 31^{\circ}$ の範囲で斜めに形成されている。換言すれば、屈曲部 318 A は、大空芯コイル 31 B の接触面 310 B と $10^{\circ} \sim 31^{\circ}$ の角度をなしている。屈曲部 318 A の屈曲角度が前記範囲の下限未満になる場合、推力が低下する。

[0058] 屈曲部 318 A の屈曲角度が 31° を超える場合は、プレス加工の際、小空芯コイル 31 A に傷等の不具合が生じるおそれがある。また、屈曲部 318 A の屈曲角度が 10° 未満の場合は、長辺部 311 A, 312 A において屈曲部 318 A が占める割合が大きくなり、平坦部が狭くなるので、推力の低下を招くおそれがある。

[0059] 小空芯コイル 31 A 及び大空芯コイル 31 B は、2 相用コイルセット 32 の空芯コイル 300 と同様、導体の平角線を軸心方向と直交する方向に複数回巻いて形成されている。平角線同士が（平角線の）厚み方向にて重畳するように巻回されている。即ち、小空芯コイル 31 A 及び大空芯コイル 31 B は、軸心方向には単層であり、軸心方向と直交する方向に複層であって、軸心方向の両端面が略平らである。図 3－図 8 においては、便宜上、小空芯コイル 31 A 及び大空芯コイル 31 B の軸心方向の端面（複層状のコイル）を略示している。

[0060] また、小空芯コイル 31 A は、巻き始めになる引き出し線 315 A 及び巻き終わりになる引き出し線 316 A を有している。大空芯コイル 31 B は、

巻き始めになる引き出し線315B及び巻き終わりになる引き出し線316Bを有している。なお、小空芯コイル31A及び大空芯コイル31Bの屈曲角によって、小空芯コイル31A及び大空芯コイル31Bの長さ方向の寸法が定まる。

[0061] 以上の如く、大空芯コイル31Bは、長辺部311B、312Bの両端部がクランク形状に屈曲しており、短辺部313B、314Bが2相用コイルセット32の短辺部323、324と当接し、長辺部311B、312Bが小空芯コイル31Aの長辺部311A、312Aと当接している（図6参照）。また、2相用コイルセット32は厚みが t である2つの空芯コイル300からなり、大空芯コイル31Bの短辺部313B、314Bが長辺部311B、312Bの接触面310Bと反対側面との間で $2t$ の間隔を有するので（図9B参照）、軸心方向において、大空芯コイル31B及び2相用コイルセット32は $3t$ の厚みを有する（図6参照）。

[0062] 更に、大空芯コイル31Bの短辺部313B、314Bが長辺部311B、312Bの接触面310Bと反対側面との間で $2t$ の間隔を有するので、短辺部313B、314Bの一面319Bと反対側の他面317B（反対側面）及び接触面310Bの間隔 L_2 は、 $2t$ である。また、小空芯コイル31Aにおいて、短辺部313A、314Aが、上述の如く、長辺部311A、312Aの接触面310Aと t の間隔を有するので、短辺部313A、314Aの一面319Aと反対側の他面317A（反対側面）及び接触面310Aの間隔 L_1 も、 $2t$ である。そして、小空芯コイル31Aの長辺部311A、312Aは、夫々大空芯コイル31Bの長辺部311B、312Bと当接している。

[0063] このように、他面317A及び接触面310Aの間隔 L_1 が、他面317B及び接触面310Bの間隔 L_2 と等しいので、軸心方向において、小空芯コイル31Aが大空芯コイル31Bよりも前記一侧にはみ出ることはない（図6参照）。この際、小空芯コイル31Aの長辺部311A、312Aの接触面310Aと反対側の面は、2相用コイルセット32の長辺部321と面

一をなしている。更に、小空芯コイル31A及び大空芯コイル31Bに加え、2相用コイルセット32の2つの空芯コイル300が軸心方向に積層しているにも関わらず、厚みを3tに抑制することができる(図6参照)。

[0064] 以上では、他面317A及び接触面310Aの間隔L1が、他面317B及び接触面310Bの間隔L2と等しい場合を例に挙げて説明したが、これに限定されるものではない。間隔L2が間隔L1以上であれば良い。

[0065] 上述の如く、軸心方向に、2つの2相用コイルセット32が積層しており、2相用コイルセット32に対して軸心方向の他側にも1相用コイルセット31が設けられている。軸心方向の他側に設けられた1相用コイルセット31も、小空芯コイル31A及び大空芯コイル31Bからなり、大空芯コイル31Bに対して、軸心方向の前記他側に、小空芯コイル31Aが配置され、小空芯コイル31A及び大空芯コイル31Bの両端部が、軸心方向の他側へクランク形状に屈曲している(図5及び図6参照)。他、軸心方向の他側に設けられた1相用コイルセット31は、既に説明した1相用コイルセット31と同じ形状であり、詳しい説明を省略する。

[0066] 即ち、本実施形態の3相コイル構造体30は、隣り合う一对の2相用コイルセット32が軸心方向に積層されており、積層された2相用コイルセット32に対して、軸心方向の両側に夫々1相用コイルセット31が設けられており、一方の1相用コイルセット31(小空芯コイル31A及び大空芯コイル31B)の両端部が、他方の1相用コイルセット31の両端部と反対側に屈曲している。

[0067] 上述したように、1つの1相用コイルセット31及び一对の2相用コイルセット32が軸心方向にて、3tの厚みを有するので、2つの1相用コイルセット31及び一对の2相用コイルセット32が2層に積層された3相コイル構造体30の全体においては、軸心方向において6tの厚みを有する。1相用コイルセット31が小空芯コイル31A及び大空芯コイル31Bからなり、2相用コイルセット32が2つの空芯コイル300からなるので、3相コイル構造体30全体としては、8つの空芯コイルが積層しているにも関わ

らず、厚みを6 tに抑制しており、3相コイル構造体30がコンパクト化されている。

[0068] このような構成を有するリニアモータ100は、3相コイル構造体30に通電が行われた場合、フレミングの左手則に基づいて一对の磁石ユニット13の間で形成された交番磁界を横切る方向（以下、移動方向）への推力が発生し、3相コイル構造体30を前記移動方向に押す。これにより、可動子20が移動する（図1の矢印参照）。

[0069] 一方、3相コイル構造体30において、小空芯コイル31Aが大空芯コイル31Bに比べて長さ方向の寸法が小さいので、鎖交長が減少している。斯かる鎖交長の減少は、コイルインピーダンスの低下及び推力の減少を招くおそれがある。

[0070] これに対して、本実施形態のリニアモータ100は、1相用コイルセット31の巻数を増やして、上述のコイルインピーダンスの低下及び推力の減少の問題に対応している。即ち、本実施形態のリニアモータ100において、1相用コイルセット31は2相用コイルセット32よりも巻数が多い。

[0071] 詳しくは、1相用コイルセット31は小空芯コイル31A及び大空芯コイル31Bを有するので、小空芯コイル31Aの巻数、又は、大空芯コイル31Bの巻数が2相用コイルセット32の各空芯コイル300の巻数よりも多くても良く、小空芯コイル31Aの巻数及び大空芯コイル31Bの巻数が共に空芯コイル300の巻数よりも多くても良い。小空芯コイル31A及び大空芯コイル31Bにおいては、コイルインピーダンスへの効果を勘案して、内径を空芯コイル300と同じにして、軸心から遠い外周側の巻数を増やしている。

[0072] 例えば、2相用コイルセット32の各空芯コイル300の巻数が15回であるとした場合、小空芯コイル31A又は大空芯コイル31Bの巻数は16－17回である。より詳しくは、小空芯コイル31Aの巻数は16回であり、大空芯コイル31Bの巻数は17回であることが望ましい。

また、これに限定されるものではない。コイルインピーダンスの変化を考

慮した場合は、小空芯コイル 3 1 A 及び大空芯コイル 3 1 B の何れも巻数を 1 6 回にすることも効果的である。

[0073] 以上のように、本実施形態のリニアモータ 1 0 0 においては、1 相用コイルセット 3 1 の巻数が 2 相用コイルセット 3 2 の巻数よりも多いので、コイルインピーダンスの低下及び推力の減少を補うことができる。

[0074] 図 1 1 は、本実施形態のリニアモータ 1 0 0 の推力及びコイルインピーダンスを先行技術と比較したグラフであり、図 1 2 は、本実施形態のリニアモータ 1 0 0 の銅損を先行技術と比較したグラフである。

[0075] 図 1 1 において、横軸は 3 相コイル構造体 3 0 の全長[mm]（2 相用コイルセット 3 2 及び大空芯コイル 3 1 B の全長と同じであり、コイル全長と呼称）を示し、左側縦軸は推力定数[N/A rms]を示し、右側縦軸は相抵抗（インピーダンス）[Ω]を示している。また、図 1 1 において、上方の直線（円）がリニアモータ 1 0 0 の推力定数を示しており、下方の直線（円）はリニアモータ 1 0 0 の相抵抗を示している。更に、図 1 1 において、上方の三角形は先行技術の推力定数を示しており、下方の三角形は先行技術の相抵抗を示している。

[0076] また、図 1 2 において、横軸は 3 相コイル構造体 3 0 の全長[mm]（2 相用コイルセット 3 2 及び大空芯コイル 3 1 B の全長と同じであり、コイル全長と呼称）を示し、縦軸は発熱量[W]を示している。なお、図 1 1 及び図 1 2 においては、先行技術として、前記特許文献 1 の特許第 5 5 0 8 3 6 2 号に係るリニアモータを例として挙げている。

[0077] 図 1 1 に示すように、本実施形態のリニアモータ 1 0 0 においては、コイル全長の増加が、推力定数の増加及び相抵抗の増加と比例している。先行技術の場合、コイル全長が 1 8 0 mm であるときに達成した推力定数値及び相抵抗値が、本実施形態のリニアモータ 1 0 0 の場合は、コイル全長が 1 6 5 mm であるときに達成できている。また、本実施形態のリニアモータ 1 0 0 では、コイル全長が先行技術と同じく 1 8 0 mm である場合、推力定数値及び相抵抗値が先行技術の推力定数値及び相抵抗値を大きく上回っている。

- [0078] そして、本実施形態のリニアモータ１００においては、コイル全長が増加するにつれて、導体（平角線）の抵抗による発熱量（いわゆる銅損）が低減している。先行技術の場合、コイル全長が１８０mmであるときの発熱量が、本実施形態のリニアモータ１００の場合は、コイル全長が１６５mmであるときの発熱量に相当する。また、本実施形態のリニアモータ１００では、コイル全長が先行技術と同じく１８０mmである場合、発熱量が先行技術の発熱量を大きく下回っている。
- [0079] 図１１及び図１２から分かるように、本実施形態のリニアモータ１００においては、上述のような構成によって３相コイル構造体３０のコンパクト化を図りつつ、これに伴うコイルインピーダンスの低下及び推力の減少を補い、更に性能が改善されている。
- [0080] また、本実施形態のリニアモータ１００においては、上述のような構成によって、放熱性を改善できる。例えば、放熱性を単位面積あたりの発熱量 $[W/S]$ と定義した場合、発熱量が小さいほど、コイルの温度上昇幅が小さいことを意味するので、放熱性が良いと言える。
- [0081] 図１３は、本実施形態のリニアモータ１００の単位面積あたりの発熱量を先行技術と比較したグラフである。図１３において、横軸は３相コイル構造体３０の全長 $[mm]$ （２相用コイルセット３２及び大空芯コイル３１Ｂの全長と同じであり、コイル全長と呼称）を示し、縦軸は単位面積あたりの発熱量 $[W/S]$ を示している。なお、図１３においても、先行技術として、前記特許文献１の特許第５５０８３６２号に係るリニアモータを例として挙げている。
- [0082] 本実施形態のリニアモータ１００においては、コイル全長が増加するにつれて、単位面積あたりの発熱量が低減している。先行技術の場合、コイル全長が１８０mmであるときの単位面積あたりの発熱量が、本実施形態のリニアモータ１００の場合は、コイル全長が１７３mmであるときの単位面積あたりの発熱量に相当する。また、本実施形態のリニアモータ１００では、コイル全長が先行技術と同じく１８０mmである場合、単位面積あたりの発熱

量が先行技術の単位面積当たりの発熱量を大きく下回っている。本実施形態のリニアモータ１００においては、３相コイル構造体３０のコンパクト化を図りつつ、放熱性が改善されている。

[0083] 開示された実施の形態は、全ての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上述の説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味及び範囲内での全ての変更が含まれることが意図される。

符号の説明

[0084] １３ 磁石ユニット
３０ ３相コイル構造体
３１ １相用コイルセット
３１Ａ 小空芯コイル
３１Ｂ 大空芯コイル
３２ ２相用コイルセット
１００ リニアモータ
３００ 空芯コイル
３１０Ａ 接触面（一面）
３１０Ｂ 接触面（一面）
３１１Ａ，３１２Ａ，３１１Ｂ，３１２Ｂ，３２１，３２２ 長辺部
３１３Ａ，３１４Ａ，３１３Ｂ，３１４Ｂ，３２３，３２４ 短辺部
３１７Ａ 他面（反対側面）
３１７Ｂ 他面（反対側面）
３１９Ａ 一面（対向面）
３１９Ｂ 一面（対向面）

請求の範囲

- [請求項1] 隣り合うように同一面内に並設された複数の長方形の空芯コイルを含む2相用コイルセットを備える3相コイル構造体において、
 両端側で曲げられ、前記2相用コイルセットの隣り合う長辺部同士を跨ぐように配置された、大きさ及び曲げ角の異なる2つの空芯コイルを含む1相用コイルセットを備え、
 前記1相用コイルセットの空芯コイルは、前記2相用コイルセットの空芯コイルよりも巻数が多い3相コイル構造体。
- [請求項2] 前記1相用コイルセットは、長さ方向の寸法が前記2相用コイルセットの空芯コイルと等しい大空芯コイルと、長さ方向の寸法が該大空芯コイルよりも小さい小空芯コイルとを含み、
 前記大空芯コイル及び前記小空芯コイルの少なくとも一方の巻数が前記2相用コイルセットの空芯コイルよりも多い請求項1に記載の3相コイル構造体。
- [請求項3] 前記大空芯コイル及び前記小空芯コイルは、同一軸心上に配置されており、夫々の両端側が軸心方向にて一側へクランク形状に屈曲しており、
 前記大空芯コイルは、両端部が前記2相用コイルセットの空芯コイルの端部と夫々重畳する請求項2に記載の3相コイル構造体。
- [請求項4] 前記大空芯コイルは両端部が 30° - 44.5° 屈曲しており、
 前記小空芯コイルは前記両端部が 10° - 31° 屈曲している請求項3に記載の3相コイル構造体。
- [請求項5] 前記小空芯コイルは、前記大空芯コイルに対して前記軸心方向の前記一側に配置され、一面が前記大空芯コイルの一面と接触しており、
 前記大空芯コイルにて、前記一面及び前記両端部の前記2相用コイルセットとの対向面と反対側面の間の間隔は、前記小空芯コイルにて、前記一面及び前記両端部の前記大空芯コイルとの対向面と反対側面の間の間隔以上である請求項4に記載の3相コイル構造体。

[請求項6] 前記2相用コイルセットは、2つであって、一方向に積層されており、

前記一方向において、積層された2つの前記2相用コイルセットの両側に、前記1相用コイルセットが同一軸心上に夫々設けられ、

2つの前記1相用コイルセットは夫々の両端側が互いに反対向きに屈曲している請求項3から5のいずれか一項に記載の3相コイル構造体。

[請求項7] 請求項1から6のいずれか一項に記載の3相コイル構造体と、

前記1相用コイルセットの軸心方向で対向するよう、前記3相コイル構造体の両側に配置された磁石と

を備えるリニアモータ。